

T S3/5/1

3/5/1

DIALOG(R) File 347:JAPIO

(c) 2004 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

04890590 **Image available**
PROJECTION ALIGNER

PUB. NO.: 07-183190 [JP 7183190 A]

PUBLISHED: July 21, 1995 (19950721)

INVENTOR(s): SASAYA TOSHIHIRO

 ENDO KAZUMASA

 USHIDA KAZUO

APPLICANT(s): NIKON CORP [000411] (A Japanese Company or Corporation), JP
 (Japan)

APPL. NO.: 05-323721 [JP 93323721]

FILED: December 22, 1993 (19931222)

INTL CLASS: [6] H01L-021/027; G03B-027/32; G03F-007/20

JAPIO CLASS: 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components); 29.1 (PRECISION
 INSTRUMENTS -- Photography & Cinematography)

ABSTRACT

PURPOSE: To make it possible to adjust rotary asymmetrical optical properties against an optical axis of a projection optical system which remains in the projection optical system without controlling strictly discrete component accuracy or assembling accuracy by laying out an optical means having a rotary asymmetrical power to the optical axis of the projection optical system.

CONSTITUTION: A toric type optical member having different powers in the orthogonal directions as an optical means having rotary asymmetric power to the optical axis of the projection lens 36 is laid out between a reticle 35 and a projection lens 36. A cylindrical lens 1 having negative power and a cylindrical lens having positive power are installed rotatively to the toric type optical member, centering on the optical axis of the projection lens 36 respectively. And the rotary asymmetric optical properties remaining on the projection lens 36 are corrected with the amount of relative rotation. This construction makes it possible to prevent a drop in the performance of the projection optical system due to manufacturing errors and provide a projection optical system as designed.

?

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-183190

(43)公開日 平成7年(1995)7月21日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 B 27/32	F			
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 1 5 D
		7352-4M		5 2 7
審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 14 頁)				

(21)出願番号 特願平5-323721

(22)出願日 平成5年(1993)12月22日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 笹谷 俊博

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 遠藤 一正

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 牛田 一雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

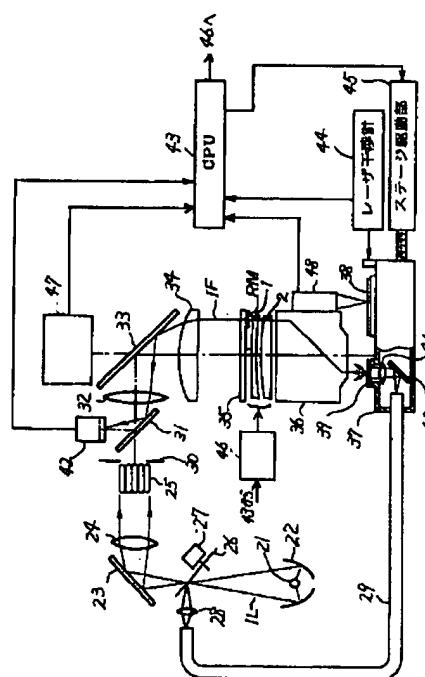
式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】個々の部品の精度や組立の精度を非常に厳しく抑えることなしに、投影光学系内に残存する投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を調整可能としながら、耐久性、再現性に優れた高性能な投影露光装置の提供にある。

【構成】本発明は、第1物体を照明する照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を所定の縮小倍率のもとで第2物体に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記第1物体と前記第2物体との間に、前記投影光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを持つ光学手段を配置し、前記光学手段は、前記投影光学系に残存する前記投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を補正するために、前記投影光学系の光軸を中心に回転可能または前記投影光学系の光軸に沿って移動可能に設けられる構成としたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】第1物体を照明する照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を所定の倍率のもとで第2物体に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、

前記第1物体と前記第2物体との間に、前記投影光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを持つ光学手段を配置し、

前記光学手段は、前記投影光学系に残存する前記投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を補正するために、前記投影光学系の光軸を中心に回転可能または前記投影光学系の光軸に沿って移動可能に設けられることを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】前記光学手段は、直交した方向でのパワーが異なるトーリック型光学部材を有することを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【請求項3】前記トーリック型光学部材は、直交した方向でのパワーが異なる第1及び第2トーリック型光学素子を有し、

該第1及び第2トーリック型光学素子は、前記投影光学系の光軸を中心に相対的に回転可能または前記投影光学系の光軸に沿って相対的に移動可能に設けられることを特徴とする請求項2記載の投影露光装置。

【請求項4】前記光学手段は、前記第1物体と前記投影光学系との間、前記投影光学系の内部及び前記投影光学系と前記第2物体との間の内の少なくとも一方に配置されることを特徴とする請求項1乃至請求項3記載の投影露光装置。

【請求項5】前記光学手段は、前記投影光学系の端面もしくはその近傍に配置されることを特徴とする請求項1乃至請求項4記載の投影露光装置。

【請求項6】前記光学手段は、前記投影光学系の結像性能に寄与し、前記投影光学系の光軸に対して回転対称なパワーを持つ面を有し、

前記回転対称なパワーを持つ面は前記投影光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを持つ回転非対称領域を持つことを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、第1物体に光を照明し、照明された第1物体のパターンを第2物体としての基板等に縮小投影するため投影露光装置に関するものであり、特に、第1物体としてのレチクル（マスク）上に形成された回路パターンを第2物体としての基板（ウェハ）上に投影露光するのに好適な投影露光装置に係わるものである。

【0002】

【従来の技術】近年においては、集積回路のパターンが微細になるに従って、ウェハの焼き付けに用いられる投影露光装置に対して要求される性能もますます厳しくな

ってきている。この様な状況の中で投影光学系については高い解像力、像面の平坦性、少ないディストーション（以下、歪曲収差と称する。）等が要求されている。それらのために、露光波長を短くする他に、投影光学系の開口数NAを大きくしたり、像面湾曲を小さくし、歪曲収差を軽減する事が行われてきた。この様な例としては、特開平4-157412号、特開平5-173065号等のものがある。

【0003】また、倍率誤差だけを調整する方法として、特開昭59-144127号、特開昭62-35620号がある。前者では、非常に薄く像性能に影響を与えない膜、例えばベリクルを湾曲させて光路中に配置することが提案されており、後者では回転対称な平凸レンズ、あるいは回転対称な平凸レンズと平凹レンズの組を、光軸方向に動かしてウェハ面での全体の倍率を等方的に調整することが提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平4-157412号及び特開平5-173065号の各特許公報にて提案されている高性能な投影光学系は、レンズの構成枚数が15～24枚で、特に、開口数NAが0.4以上の高解像の投影光学系になると、構成枚数が20枚以上と非常に多くなっている。このように、要求性能が厳しくなってくるにしたがって、ますます投影光学系は構成枚数も増えて非常に複雑な構成になってきている。そのため、これらの投影光学系を実際に製造し、投影露光装置に搭載して、像面湾曲、非点収差、歪曲収差等の収差を設計値どおりにおさえ、高性能を発揮させるには、個々のレンズ部品の精度や組立の精度を非常に厳しくおさえる必要があり、そのため歩留まりが悪かったり、製造する日程が非常にかかったり、あるいは、十分な性能が発揮できない等の問題があった。

【0005】また、特開昭59-144127号にて提案されている倍率誤差の補正方法では、光学系の結像性能に影響を与えないような極めて薄い膜等を湾曲させてそのプリズム作用によって倍率誤差を補正しているものの、投影光学系内に残存する方向性のある非対称な倍率誤差成分の補正量や補正方向に対する微調整はできない。しかも、薄い膜を用いているために、ミラープロジェクション方式のように露光領域が細長い場合には、金枠等に貼って2次元的に保持可能であるが、露光領域が長方形や正方形の場合には、そのような薄い膜を3次元的に保持し、良い再現性を発揮させるのは非常に困難である。また、形状を保持するために薄い膜の代わりにガラス等を使用するとしても、結像性能に影響を与えないように薄くかつ均一にそれらを作成するのはやはり困難であり、さらに、それらの膜等を実際に使用したときの露光光の熱吸収等による破損事故を含めての膜等の耐久性、露光光の熱吸収や環境変化に伴う光学性能の変化に対して非常に問題がある。

【0006】また、特開昭62-35620号では回転対称なレンズを使用して倍率誤差を調整することが提案されているが、回転対称なレンズを光軸方向に動かすだけでは、ウエハ面での全体の倍率だけを等方的にしか調整できず、投影光学系内に残存する方向性のある非対称な倍率誤差成分は調整できない。さらに、特開昭59-144127号及び特開昭62-35620号にて提案されている倍率誤差の補正方法では、倍率誤差のみが基本的に補正可能であり、軸外収差としての非点収差等に対する補正は出来ず、さらには、投影光学系内にて回転非対称で局所的にランダムに残存する倍率誤差成分や歪曲収差成分に対する対応も困難であった。

【0007】本発明は、以上の問題点に鑑みてなされたものであり、個々の部品の精度や組立の精度を非常に厳しく抑えることなしに、投影光学系内に残存する投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性、例えば回転非対称な軸外収差成分（非点収差、像面湾曲等）、回転非対称な倍率誤差成分等を調整可能としながら、耐久性、再現性に優れた高性能な投影露光装置を提供することを主たる目的としている。さらには、投影光学系内にて回転非対称で局所的にランダムに残存する回転非対称な歪曲収差等の補正に対しても十分に対応し得る投影露光装置を提供することを副次的な目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は、第1物体を照明する照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を所定の縮小倍率のもとで第2物体に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記第1物体と前記第2物体との間に、前記投影光学系の光軸に対して回転非対

称なパワーを持つ光学手段を配置し、前記光学手段は、*

$$\beta_1 = f_1 / (d_{11} \cdot \cos^2 \theta + f_1) \quad (1)$$

$$d_{12} = d_{11} \cdot f_1 / (d_{11} \cdot \cos^2 \theta + f_1) \quad (2)$$

同様に、Y方向と直交するX方向（光軸AxとX軸とを含む平面方向）の結像倍率 β_1' と結像位置 d_{12}' は※

$$\beta_1' = f_1 / (d_{11} \cdot \sin^2 \theta + f_1) \quad (3)$$

$$d_{12}' = d_{11} \cdot f_1 / (d_{11} \cdot \sin^2 \theta + f_1) \quad (4)$$

従って、非点収差量AS1は

$$AS1 = d_{12} - d_{12}' \quad (5)$$

で与えられる。

【0013】よって、円柱レンズ1を移動させれば、

(1)式～(4)式中の d_{11} が変化するため、(5)式より非点収差量が変化するとともに、(1)式及び(3)式の倍率が変化することが理解できる。一方、円柱レンズ1を回転させれば、(1)式～(4)式中の θ が変化するため、(5)式より非点収差量が変化するとともに、(1)式及び(3)式の倍率が変化することが理解できる。

【0014】また、図2に示すように、トーリックレンズの1種である正の屈折力を持つ円柱レンズ2のメリジ

*前記投影光学系に残存する前記投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を補正するために、前記投影光学系の光軸を中心に回転可能または前記投影光学系の光軸に沿って移動可能に設けられる構成としたものである。

【0009】そして、上記の副次的な目的を達成するには、以上の基本構成に基づいて、前記光学手段は、前記投影光学系の結像性能に寄与し、前記投影光学系の光軸に対して回転対称なパワーを持つ面を有し、前記回転対称なパワーを持つ面は前記投影光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを持つ回転非対称領域を持つ構成とすることが好ましい。

【0010】

【作 用】図1に示すように、直交した方向で異なるパワーを持つトーリックレンズの1種である負の屈折力を持つ円柱レンズ1のメリジオナル方向（yy'平面方向）の焦点距離を f_1 、円柱レンズ1から第1物体としてのレチクル面4（xy平面）までの距離を d_{11} 、レチクル面4の中心位置（レチクル面と光軸Axとが交わる位置）を物点とする時に円柱レンズ1によって物点（レチクル面4）と円柱レンズ1との間に形成される像点（虚像）位置を d_{12} としたとき、この円柱レンズ1によるy軸より θ 回転したY方向（光軸AxとY軸とを含む平面方向）の結像倍率 β_1 及び円柱レンズ1から像点位置までの距離 d_{12} （以下、単に結像位置と称する。）は以下に示す如くなる。なお、図1では不図示であるが円柱レンズに対してレチクル面4の反対側には、レチクルのパターンをウエハに投影するための投影光学系が配置されており、後述する図2～図4に関しても同様である。

【0011】

$$\beta_1 = f_1 / (d_{11} \cdot \cos^2 \theta + f_1) \quad (1)$$

$$d_{12} = d_{11} \cdot f_1 / (d_{11} \cdot \cos^2 \theta + f_1) \quad (2)$$

※以下に示す如くなる。

【0012】

$$\beta_1' = f_1 / (d_{11} \cdot \sin^2 \theta + f_1) \quad (3)$$

$$d_{12}' = d_{11} \cdot f_1 / (d_{11} \cdot \sin^2 \theta + f_1) \quad (4)$$

$$AS1 = d_{12} - d_{12}' \quad (5)$$

40 オナル方向（yy'平面方向）の焦点距離を f_2 、円柱レンズ2から第1物体としてのレチクル面4（xy平面）までの距離を d_{21} 、レチクル面4の中心位置（レチクル面と光軸Axとが交わる位置）を物点とする時に円柱レンズ2によって形成される像点位置を d_{22} としたとき、この円柱レンズ2によるy軸より θ 回転したY方向（光軸AxとY軸とを含む平面方向）の結像倍率 β_2 及び円柱レンズ2から像点位置 d_{22} までの距離（以下、単に結像位置と称する。）は以下に示す如くなる。

【0015】

$$\beta_2 = f_2 / (d_{21} \cdot \cos^2 \theta + f_2) \quad (6)$$

$$d_{22} = d_{21} \cdot f_2 / (d_{21} \cdot \cos^2 \theta + f_2) \quad (7)$$

同様に、Y方向と直交するX方向（光軸AxとX軸とを *以下に示す如くなる。

含む平面方向）の結像倍率 β_2' と結像倍率 d_{22}' は*

$$\beta_2' = f_2 / (d_{21} \cdot \sin^2 \theta + f_2) \quad (8)$$

$$d_{22}' = d_{21} \cdot f_2 / (d_{21} \cdot \sin^2 \theta + f_2) \quad (9)$$

よって、非点収差量AS2は

$$AS2 = d_{22} - d_{22}' \quad (10)$$

で与えられる。よって、円柱レンズ2を移動させれば、

(6)式～(10)式中の d_{21} が変化するため、(10)式より非点収差量が変化するとともに、(6)式及び(8)式の倍率が変化することが理解できる。

【0016】一方、円柱レンズ2を回転させれば、

(6)式～(9)式中の θ が変化するため、(10)式※

$$(d_{12} + d_{12}') / 2 \quad (11)$$

$$(d_{22} + d_{22}') / 2 \quad (12)$$

で与えられ、その最良像面は、 d_{11} 、 d_{21} 、 θ によって変化するため、よって、像面湾曲の量も変化することが分かる。

【0018】以上の如く、結像倍率、非点収差、像面湾曲に対する量並びに方向を調整するためには、円柱レンズ等のトーリックレンズを光軸方向に移動させるか、あるいは円柱レンズ等のトーリックレンズ自体を回転させ★

$$AS2_{\dots} = - (d_{21})^2 / (d_{21} + f_2) \quad (13)$$

今、第1物体としてのレチクルから第2物体としてのウエハまでの距離を L としたとき、10ミクロン以下の線幅を焼き付ける投影露光装置に関し、試し焼付けを行って検討を重ねていった結果、補正すべき最大の非点収差★

$$|f_2| \geq 10L$$

となり、正の円柱レンズ2の焦点距離は上記(14)式の範囲を満足することが望ましい。なお、図1及び図2に示した如き2つ以上の円柱レンズ等のトーリックレンズを組み合わせる場合や、他の光学素子と組み合わせる場合には、レチクル4の物点が、第1のトーリックレンズや他の光学素子によってできた、着目している方向での結像位置を新たな物点として、この新たな物点から次のトーリックレンズや他の光学素子までの距離を求め直して、その距離を d_{11} や d_{21} にしてやれば良い。

【0021】ところで、図1にて示した負の円柱レンズ1と図2にて示した正の円柱レンズ2とを光軸方向に沿って直列的に配置した場合について検討する。今、2つの円柱レンズ(1, 2)の母線方向が互いに一致するとともに、2つの円柱レンズの結像倍率の積が1、即ち $|\beta_1 \cdot \beta_2| = 1$ である場合、各方向での2つの円柱レンズ(1, 2)の合成のパワーはほぼ零となり、倍率及び軸外収差（非点収差、像面湾曲等）等の光学特性は何ら変化しない。

【0022】一方、2つの円柱レンズ(1, 2)の母線方向が互いに直交した場合には、最大の倍率並びに最大の軸外収差を発生させることができる。従って、2つの

※より非点収差量が増加するとともに、(6)式及び(8)式の倍率が変化することが理解できる。さて、上記(5)式及び(10)式にて示したAS1、AS2は、それぞれの円柱レンズ(1, 2)によって補正できる非点収差量になる。

【0017】そのときの最良像面はそれぞれ、

★れば良いことが理解される。なお、上記の調整手法以外にトーリックレンズ自体の焦点距離を変えても良い。さて、図2に示した円柱レンズ2を用いる場合において最大の非点収差の補正量を見積もるために $\theta = 0$ とすると、そのときの最大の非点収差は以下の如くなる。

【0019】

☆量 $AS2_{\dots}$ は、 $10^{-5}L$ 以下とすることが良い事が判明した。

【0020】従って、 $d_{21} \leq 10^{-2}L$ とすると、(13)式より、

$$(14)$$

円柱レンズ(1, 2)とを相対的に回転させれば、投影光学系内に残存する方向性のある非対称な倍率誤差成分及び軸外収差成分の補正量や補正方向に対する調整が実現できることが分かる。

【0023】なお、図1に示した負の円柱レンズ1を光軸方向に沿って2つ直列的に配置した場合、あるいは図2に示した正の円柱レンズ2を光軸方向に沿って2つ直列的に配置した場合には、それぞれの円柱レンズの母線方向が互いに一致すると、最大の倍率並びに最大の軸外収差を発生させることができ、また、それぞれの円柱レンズの母線方向が互いに直交すると、ほぼ1枚の回転対称な球面レンズと同じレンズ作用を持たせることができる。

【0024】このように、トーリックレンズの1種である円柱レンズを少なくとも2枚用いて、少なくとも一方の円柱レンズを回転可能にしてやる事により、倍率及び軸外収差（非点収差、像面湾曲等）等の光学特性の量と方向を任意に調整する事が出来る。以上においては、非点収差及び像面湾曲に関する調整について主に述べてきたが、次に、図1にて示した負の円柱レンズ1または図2に示した正の円柱レンズ2を光軸Axを中心に回転さ

7

せた時の倍率誤差の調整に関して図3～図7を参照しながら詳述する。

【0025】図3は図1に示した負の円柱レンズ1に対し光軸Axを中心とした半径Rの平行光束を入射させた時の様子を示している。ここで、図3において、光軸Axを中心とした半径Rの平行光束がレチクル面4(xy平面)を通過した時の軌跡を円13として示し、光軸Axを中心とした半径Rの平行光束が円柱レンズ1によって発散作用を受けた光束が仮想平面(x'y'平面)を通過するときの軌跡を楕円11として示している。また、図5は、図3に示した仮想平面(x'y'平面)上での光束径の様子を示している。

【0026】一方、図4は図2に示した正の円柱レンズ2に対し光軸Axを中心とした半径Rの平行光束を入射させた時の様子を示している。ここで、図4において、光軸Axを中心とした半径Rの平行光束がレチクル面4*

$$\Delta R1 = -R \cdot e1 / f1$$

同様に、図8に示すように、正の円柱レンズ2による仮想平面(x'y'平面)上のメリジオナル方向であるy'方向(光軸Axとy'軸とを含む平面方向)の光束径の変化量をΔR2としたとき、正の円柱レンズ2より※

$$\Delta R2 = -R \cdot e2 / f2$$

よって、図5及び図6に示される如く、仮想平面(x'y'平面)上での実線で示すy'方向の径(図5では長★

$$y' = R(1 - e1 / f1)$$

$$y' = R(1 - e2 / f2)$$

となり、円の式、すなわち

$$y = \pm [R^2 + (x')^2]^{0.5}$$

を代入して、x'y'座標をxy座標に変換すると、図5及び図6の実線で示す楕円11、楕円12は、それぞれ☆30

$$x^2 / R^2 + y^2 / [(1 - e1 / f1) \cdot R]^2 = 1 \quad (20)$$

$$x^2 / R^2 + y^2 / [(1 - e2 / f2) \cdot R]^2 = 1 \quad (21)$$

となる。このように、投影光学系内部に例えば図6に示す如き非対称な倍率誤差を有している場合には、図5の如き光学特性を有する図3の円柱レンズ1を回転させる事によって、図6に示す如き光束径は楕円から円にわたり任意に変化させることができるため、非対称な倍率誤差を調整することができる。逆に、投影光学系内部に例えば図5に示す如き非対称な倍率誤差を有している場合には、図6の如き光学特性を有する図4の円柱レンズ2を回転させる事によって、図5に示す如き光束径は楕円から円にわたり任意に変化させることができるため、非対称な倍率誤差を調整することができる。

$$f1 = (-d11 \cdot \beta1) / (\beta1 - 1) \quad (23)$$

従って、上記最大の倍率誤差の補正量10⁻⁴(=100ppm)をβ1に換算すると、β1 = 0.9999(又は1.000*

$$|f2| \geq 10^2 L$$

となり、正の円柱レンズ2の焦点距離は上記(24)式の範囲を満足することが望ましい。

【0033】なお、以上では、1つのトーリックレンズ

8

* (xy平面)を通過した時の軌跡を円13として示し、光軸Axを中心とした半径Rの平行光束が円柱レンズ2によって収斂作用を受けた光束が仮想平面(x'y'平面)を通過するときの軌跡を楕円12として示している。また、図6は、図4に示した仮想平面(x'y'平面)上での光束径の様子を示している。

【0027】なお、図3中の楕円11及び図4中の楕円12は、円柱レンズ(1, 2)を光軸中心に回転させれば、それに伴って回転する。図7に示すように、負の円柱レンズ1による仮想平面(x'y'平面)上のメリジオナル方向であるy'方向(光軸Axとy'軸とを含む平面方向)の光束径の変化量をΔR1としたとき、負の円柱レンズ1より仮想平面(x'y'平面)までの距離をe1とすると以下の関係が成立する。

【0028】

(15)

※仮想平面(x'y'平面)までの距離をe2とすると以下の関係が成立する。

【0029】

(16)

★径の半分、図6では短径の半分)は、それぞれ

(17)

(18)

(19)

☆れ以下の如く表現できる。

【0030】

◆【0031】ここで、図1に示す如き負の円柱レンズ1を用いる場合、第1物体としてのレチクルから第2物体としてのウエハまでの距離をLとしたとき、10ミクロン以下の線幅を焼き付ける投影露光装置に関し、試し焼付けを行って検討を重ねていった結果、最大の倍率誤差の補正量は、10⁻⁴(=100ppm)以下とすることが良い事が判明した。

【0032】また、円柱レンズ1の焦点距離f1と円柱レンズ1の倍率β1との関係を示す上記(1)式を変形すると、次式が得られる。

(23)

*1) となり、d11 ≤ 10⁻²Lとすると、(23)式より、

(24)

(円柱レンズ)を光軸方向を中心として回転させて倍率誤差を補正する例を述べたが、1つのトーリックレンズ(円柱レンズ)を光軸方向に移動させて、倍率誤差を補

正できることは、上記(1)、(3)式、(6)及び(8)式から明らかである。この場合には、上記(24)式を満足することがより好ましい。

【0034】ところで、以上においては、1つのトーリックレンズ(円柱レンズ)を用いて倍率誤差を補正できる事について述べたが、トーリックレンズの1種である円柱レンズを少なくとも2枚用いて、少なくとも一方の円柱レンズを回転可能にしてやる事により、倍率誤差等の光学特性の量と方向を任意に調整する事が出来る。このため、図1に示した負の円柱レンズ1と図2に示した正の円柱レンズ2とを投影光学系の光軸方向に沿って直列的に配置し、これらを相対的に回転させても良い。この場合、負の円柱レンズ1は図5に示す如き光学特性を有し、正の円柱レンズ1は図6に示す如き光学特性を有していたため、これらの円柱レンズ(1, 2)によって形成される光束径は、図5及び図6に示す光束径の合成となり、これらを相対的に回転させれば、光束径は楕円から円にわたり任意に変化させることができ、非対称な倍率誤差を補正できることが理解できる。

【0035】さらに、投影光学系内部に例えば図5又は図6に示す如き非対称な倍率誤差を有している場合には、少なくとも2つ以上の円柱レンズを光軸方向に沿って直列的に配置し、それらの円柱レンズの内の少なくとも1つを回転可能に設ければ、図5または図6に示す如き光束径は楕円から円にわたり任意に変化させることができるため、非対称な倍率誤差を調整することができる。

【0036】なお、2つ以上のトーリックレンズ(円柱レンズ)を組み合わせる場合や、他の光学素子と組み合わせる場合には、着目している光束が、第1のトーリック

$$|f_A| \geq 10L$$

$$|f_D| \geq 10^2 L$$

となり、非点収差の有効に補正するには上記(25)式を満足することが望ましく、また倍率誤差の有効に補正するには上記(26)式を満足することが望ましい。但し、この場合の円柱レンズの焦点距離(f_A , f_D)は、単一の円柱レンズに限らず、複数の円柱レンズ等のトーリックレンズやトーリック型の反射部材を組み合わせた場合にも適用できる。すなわち、この円柱レンズの焦点距離(f_A , f_D)は複数のトーリック型光学部材を組み合わせた場合での複数の円柱レンズの合成焦点距離となる。

【0040】(25)式または(26)式の関係から外れると、トーリックの成分が強すぎて、それぞれ他の収差への影響が出て問題となる。例えば、非点収差の補正では、像面湾曲、倍率誤差が悪くなったり、倍率誤差の補正ではテレセン性、非点収差が悪くなったりする。このため、上記範囲内であれば、有効に非対称収差の補正が行うことが出来る。

【0041】ところで、上記(25)式、(26)式で

*クレズ(円柱レンズ)や他の光学素子を通して出来る光束を新たな光束として、次のトーリックレンズ(円柱レンズ)等に入射してきたとして追跡を行ってやれば良い。

【0037】2つのトーリックレンズ(円柱レンズ)の組み合わせで、図1のような負の円柱レンズ1と図2のような正の円柱レンズを近接して設置した場合、それぞれのレンズの母線方向が一致したときには、各方向のトータルなレンズパワーはほぼ0となり、光束形状は変わらないが、それぞれのレンズの母線方向が直交した場合には、最大の形状変化となる。

【0038】また、図1に示した負の円柱レンズ1を光軸方向に沿って2つ直列的に配置した場合、あるいは図2に示した正の円柱レンズ2を光軸方向に沿って2つ直列的に配置した場合には、それぞれの円柱レンズの母線方向が互いに一致すると、最大の倍率並びに最大の軸外収差を発生させることができ、また、それぞれの円柱レンズの母線方向が互いに直交すると、ほぼ1枚の回転対称な球面レンズと同じレンズ作用を持たせることができる。

【0039】このように、トーリックレンズの1種である円柱レンズを少なくとも2枚用いて、少なくとも一方の円柱レンズを回転可能にしてやる事により、倍率及び軸外収差(非点収差、像面湾曲等)等の光学特性の量と方向を任意に調整する事が出来る。なお、上述した(14)式並びに(24)式を一般的な形で表現すれば、非点収差の補正に有効に作用させ得る円柱レンズの焦点距離を f_A 、倍率誤差の補正に有効に作用させ得る円柱レンズの焦点距離を f_D とすると、

$$(25)$$

$$(26)$$

はトーリック型光学部材の最適な焦点距離の範囲を示したが、次に別の観点よりトーリック型光学部材の最適な焦点距離の範囲について検討する。まず、図9には、投影光学系が開口絞りSを挟んでレチクル4側を前群GF、ウエハ5側を後群GRを持つ構成を示しており、ここでは、前群GFは f_{GF} の焦点距離を有し、後群GRは f_{GR} の焦点距離を有しており、投影光学系はレチクル側並びにウエハ5側でテレセントリックである。

【0042】図10は図9に示した投影光学系の前群GFとレチクル4との間にトーリック型光学部材としての正のパワーを持つ円柱レンズを配置した時の様子を示しており、この円柱レンズ2のパワーは図10の紙面方向(メリジオナル方向)である。ここで、図10に示す如く、円柱レンズ2の焦点距離を f_2 とし、円柱レンズ2と前群GFとの間の距離(双方の光学系の主点間隔の距離)を D_1 とすると、円柱レンズ2と前群GFとの合成焦点距離 F_1 は、以下の関係が成立する。

【0043】

11

$$F_1 = (f_2 \cdot f_{cF}) / (f_2 + f_{cF} - D_1) \quad (27)$$

また、投影光学系 (GF, GR) の結像倍率 B_1 とし、* の結像倍率 B_1' とすると、以下の関係が成立する。
円柱レンズ2と投影光学系 (GF, GR) との合成系で*

$$B_1 = -f_{cR} / f_{cF} \quad (28)$$

$$B_1' = -f_{cR} / F_1 = B_1 [1 + (f_{cF} - D_1) / f_2] \quad (29)$$

従って、投影光学系のサジタル方向とメリジオナル方向 ※【0044】

での倍率差 ΔB_1 は、以下の如くなる。 ※

$$\Delta B_1 = B_1' - B_1 = B_1 (f_{cF} - D_1) / f_2 \quad (30)$$

一方、円柱レンズ2と前群GFとの合成系によるレチクル側の主点を H_1 、円柱レンズ2と前群GFとの合成系 10 結像位置 Q_1 からウエハ5までの距離を $\Delta s_1'$ とする
によるレチクル側での焦点位置を P_1 、その焦点位置 P_1 と、以下の関係が成立する。
とレチクル4までの距離を Δs_1 、円柱レンズ2と投★ 【0045】

$$\Delta s_1 = (f_{cF} - D_1)^2 / (f_2 + f_{cF} - D_1) \quad (31)$$

$$\Delta s_1' = (B_1')^2 \cdot \Delta s_1 \quad (32)$$

ここで、 $\Delta s_1'$ は投影光学系のサジタル方向とメリジオナル方向での結像位置の差、すなわち非点収差量 (非点隔差) を意味する。また、投影光学系のレチクル側の開☆ 【0046】

$$DOF_R = \lambda / (NA_R)^2 \quad (33)$$

そこで、非点収差量を投影光学系のレチクル側での焦点 ◆3) 式より、次式が導出される。
深度以内に抑えるためには、上式 (31) 式及び (3 ◆20

$$f_2 \geq - (f_{cF} - D_1) + \{ (NA_R)^2 (f_{cF} - D_1)^2 \} / \lambda \quad (34)$$

従って、(34) 式を満足するように円柱レンズ2を構成することが好ましく、これにより、非点収差量を焦点 * 【0047】 この (34) 式を一般的に表現すれば、ト
深度以内に抑えることが可能となる。 * ーリック型光学部材の直交した方向でのパワー差を Δf
とすると、以下の如くなる。

$$\Delta f \geq | - (f_{cF} - D_1) + \{ (NA_R)^2 (f_{cF} - D_1)^2 \} / \lambda | \quad (35)$$

この様に、トーリック型光学部材を用いた場合、この部材による非点収差量を投影光学系のレチクル側での焦点深度以内に抑えるためには、上式 (35) を満足することが好ましいことが理解される。なお、上式 (34) 及び (35) の関係は、投影光学系が等倍、縮小または拡大の倍率を有する場合にも成立する事は言うまでもない。

【0048】一例として、投影光学系のレチクル側の開口数 NA_R を 0.1、露光光の波長を λ を 436 nm、 $f_{cF} = 250$ mm、 $f_{cR} = 250$ mm、 $D_1 = 200$ mm とすると、上記 (34) 式より、円柱レンズのメリジ※

$$\Delta f \geq | - (f_{cR} - D_1') + \{ (NA_R)^2 (f_{cR} - D_1')^2 \} / \lambda | \quad (36)$$

但し、 NA_R は投影光学系のウエハ側の開口数であり、★レンズ2を配置した時の様子を示しており、この円柱レンズ2のパワーは図11の紙面方向 (メリジオナル方向) である。 40

【0050】次に、図11を参照しながら、投影光学系中の前群GFと後群GRとの間、換言すれば、開口絞りSの近傍に正の円柱レンズ2を配置した時のその円柱レンズ2の最適な焦点距離範囲について検討する。図11は図9に示した投影光学系の前群GFと後群GRとの間にトーリック型光学部材としての正のパワーを持つ円柱★

$$F_2 = (f_2 \cdot f_{cF}) / (f_2 + f_{cF} - D_2) \quad (37)$$

また、投影光学系 (GF, GR) の結像倍率 B_2 とし、の結像倍率 B_2' とすると、以下の関係が成立する。
円柱レンズ2と投影光学系 (GF, GR) との合成系で 【0052】

$$B_2 = -f_{cR} / f_{cF} \quad (38)$$

13

$$B_2' = -f_{GR}/F_2 = B_2 [1 + (f_{GR} - D_2) / f_2] \quad (39)$$

従って、投影光学系のサジタル方向とメリジオナル方向* *での倍率差 ΔB_2 は、以下の如くなる。

$$\Delta B_2 = B_2' - B_2 = B_2 (f_{GR} - D_2) / f_2 \quad (40)$$

一方、前群GFと円柱レンズ2との合成系によるレチクル側の主点を H_2 、前群GFと円柱レンズ2との合成系によるレチクル側での焦点位置を P_2 、その焦点位置 P_2 とレチクル4までの距離を Δs_2 、投影光学系(GF※

※, GR)と円柱レンズ2との合成系によるレチクル4の結像位置 Q_2 からウエハ5までの距離を $\Delta s_2'$ とすると、以下の関係が成立する。

$$\Delta s_2 = (f_{GF})^2 / (f_2 + f_{GF} - D_2) \quad (41)$$

$$\Delta s_2' = (B_2')^2 \cdot \Delta s_2 \quad (42)$$

ここで、 $\Delta s_2'$ は投影光学系のサジタル方向とメリジオナル方向での結像位置の差、すなわち非点収差量(非点隔差)を意味する。そこで、非点収差量を投影光学系の★
10★レチクル側での焦点深度以内に抑えるためには、上式(33)式及び(41)式より、次式が導出される。

$$f_2 \geq - (f_{GF} - D_2) + [(NA_2)^2 (f_{GF})^2] / \lambda \quad (43)$$

従って、(43)式を満足するように円柱レンズ2を構成することが好ましく、これにより、非点収差量を焦点深度以内に抑えることが可能となる。この(43)式を★

☆一般的に表現すれば、トーリック型光学部材の直交した方向でのパワー差を Δf とすると、以下の如くなる。

$$\Delta f \geq | - (f_{GF} - D_2) + [(NA_2)^2 (f_{GF})^2] / \lambda | \quad (44)$$

この様に、トーリック型光学部材を用いた場合、この部材による非点収差量を投影光学系のレチクル側での焦点深度以内に抑えるためには、上式(44)を満足することが好ましいことが理解される。なお、上式(43)及び(44)の関係は、投影光学系が等倍、縮小または拡大の倍率を有する場合にも成立する事は言うまでもない。

【0055】一例として、投影光学系のレチクル側の開口数 NA_2 を0.1、露光光の波長を λ を436nm、 $f_{GF} = 250$ mm、 $f_{GR} = 250$ mm、 $D_2 = 200$ mmとすると、上記(43)式より、円柱レンズのメリジオナル方向での焦点距離 f_2 、一般的に言うとして(44)式より、トーリック型光学部材の直交した方向でのパワー差 Δf は、 1.43×10^6 mm以上となり、この時の可変に得る倍率補正量(倍率差 ΔB_1)は、 $35 \text{ ppm} (= 3.5 \times 10^{-5})$ 以下となる。

【0056】以上の図9～図11にて解析の結果より、レチクルと投影光学系との間または投影光学系とウエハとの間にトーリック型光学部材を配置した場合には、非点収差に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、倍率誤差に対する補正の寄与を大きくすることが可能となり、一方、投影光学系の瞳もしくはその近傍にトーリック型光学部材を配置した場合には、倍率誤差に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、非点収差に対する補正の寄与を大きくすることが可能となることが理解できる。

【0057】なお、本発明で言うトーリック光学部材とは、回転対称な球面の1方向に対して研磨を施し、直交した方向で異なるパワーを持たせたトーリックレンズでも良いし、あるいは直交した方向で異なるパワーを持つ反射鏡でも良く、さらには、直交した方向で異なるパワーを持つ屈折率分布型のレンズでも良い。ところで、これまでの説明は、投影光学系の光軸に対して回転非対称なる非球面として、直交した方向で異なるパワーのある

20

30

40

50

トーリック光学部材を用いて回転非対称に発生する非点収差、像面湾曲、倍率誤差等を補正することについて述べたが、回転非対称に発生するこれらの収差や倍率誤差に加えて、投影光学系内にて回転非対称で局所的にランダムに残存する倍率誤差成分や歪曲収差成分が発生する場合には、光軸方向に沿って移動可能または光軸を中心に回転可能なトーリック光学部材の1種としての円柱レンズのレンズ面に局所的に研磨等の加工を施し、その加工が施された円柱レンズをレチクルとウエハとの間に配置すれば、回転非対称に発生する非点収差、像面湾曲、倍率誤差の補正に加えて、ランダムに発生する倍率誤差成分や歪曲収差成分を補正することが可能である。

【0058】さらに、投影光学系が回転非対称で局所的にランダムに残存する倍率誤差成分や歪曲収差成分のみを有している場合には、投影光学系を構成する光学素子(レンズ、反射鏡)自体に局所的に研磨等の加工を施せば、ランダムに発生する倍率誤差成分や歪曲収差成分を補正することも可能である。また、投影光学系が回転非対称で局所的にランダムに残存する倍率誤差成分や歪曲収差成分のみを有している場合において、ランダムに発生する倍率誤差成分や歪曲収差成分を補正するために、所定の厚みを持つ平行平板に局所的に研磨等の加工を施し、その加工が施された平行平板を、レチクルと投影光学系の間、投影光学系の内部または投影光学系とウエハとの間に配置しても良い。但し、この場合、平行平板は所定の厚みを持っているため、球面収差が発生するが、その球面収差を補正し得るように投影光学系を予め構成すれば良い。

【0059】

【実施例】次に、図12を参照しながら本発明の実施例について詳述する。図12は、本発明の実施例による投影露光装置の構成を示している。図12に示す如く、両側(又は片側)テレセントリックな投影レンズ36の上

方には、不図示のレチクルステージに保持されたレチクル35が配置され、レチクル35と投影レンズ36との間には、その投影レンズ36の光軸に対して回転非対称なパワーを持つ光学手段として直交した方向に異なるパワーを有するトーリック型光学部材が配置されている。このトーリック型光学部材は、レチクル側から順に、投影レンズ側に凹面を向け紙面方向に負のパワーを持つ負の円柱レンズ1と、レチクル側に凸面を向け紙面方向に正のパワーを持つ正の円柱レンズ2とを有し、円柱レンズ1と円柱レンズ2とは投影レンズ36の光軸を中心にそれぞれ回転可能に設けられている。

【0060】また、投影レンズ36に関してレチクル35と共役な位置には、ウエハステージ37上に載置されたウエハ38が配置されており、このウエハステージ37は、2次元的に移動可能なXYステージ及び投影レンズ36の光軸方向に移動可能なZステージより構成されている。一方、レチクル35の上方には、レチクル35を均一にケーラー照明するための照明光学系(21, 22, 23, 24, 25, 32, 33, 34)が設けられており、照明光学系中には投影レンズの光学特性を計測するための計測系42と、後述する露光光ILとは異なる波長の光によってレチクル35とウエハ38との相対的な位置検出を光学的に行う第1アライメント系47とがそれぞれ設けられている。

【0061】また、投影レンズ36の外側には、オフ・アクシス型の第2アライメント系48が設けられており、この第2アライメント系48は、後述する露光光ILとは異なる波長の光によってウエハ38の位置を光学的に検出する。図12に示した実施例を具体的に説明すると、水銀灯等の光源21から放射される露光光ILは、楕円鏡22によって集光され、反射ミラー23によって反射された後、コリメータレンズ24によりほぼ平行光束に変換され、フライアイレンズよりなるオブティカルインテグレータ25に入射する。楕円鏡22の第2焦点近傍にはシャッター26が配置され、このシャッター26をモータ等の駆動部27を介して回転することにより、その露光光ILを随時遮断することができる。

【0062】シャッター26で露光光ILを遮断している時にはそのシャッター26により反射された露光光ILが楕円鏡22の光軸にほぼ垂直な方向に射出されるので、この様に射出された露光光ILは集光レンズ28によりライトガイド29の一端に入射させる。従って、光源21から放射される露光光ILはオブティカルインテグレータ25またはライトガイド29の何れかに入射する。

【0063】オブティカルインテグレータ25に露光光ILが入射すると、オブティカルインテグレータ25のレチクル側の焦点面には多数の2次光源像(以下、単に2次光源と称する。)が形成され、この2次光源形成面に可変開口絞り30が配置されている。それら2次光源

から射出された露光光ILは光軸に対し45度傾斜して配置されたハーフミラー31を透過した後に、第1のコンデンサーレンズ32、ダイクロイックミラー33及び第2コンデンサーレンズ34を経てレチクル35の下面側のパターン領域を均一な照度で照明する。

【0064】露光時には、トーリック型光学部材(1, 2)及び投影レンズ36によりレチクル35のパターンの像がウエハ38上に結像される。この場合、オブティカルインテグレータ25の2次光源形成面は投影レンズ36の瞳面と共役であり、その2次光源形成面に配置された可変開口絞り30の口径を調整することにより、レチクル35を照明する照明光学系のコヒーレンシを表す σ 値を変更することができる。レチクル35を照明する露光光ILの最大入射角を θ_{il} 、投影レンズ36のレチクル35側の開口半角を θ_{rl} とすると、 σ 値は $\sin \theta_{il} / \sin \theta_{rl}$ で表すことができる。ここで、 σ 値は0.3~0.7程度に設定される。

【0065】なお、投影レンズ36の瞳位置には不図示であるが開口絞りが設けられており、この開口絞りの開口を可変となるように構成しても良い。また、ウエハステージ37のウエハホルダー近傍には、例えばガラス板よりなる調整板39が固設されており、この調整板39の投影レンズ36側の面には、基準パターンが形成されている。これに対応して、投影レンズ36のイメージフィールド内でかつレチクル35のパターン領域近傍には、その調整板39上の基準パターンと投影レンズ36に関して共役な位置にレチクルマークRMが形成されている。一例として、調整板39側の基準パターンは遮光部の中に形成された十字型の開口パターンよりなり、ウエハ35側のレチクルマークRMはその基準パターンにトーリック型光学部材(1, 2)及び投影レンズ36による投影倍率を乗じて得られたパターンの明暗を反転して得られるパターンよりなる。

【0066】ウエハステージ37の調整板39の下面にはコンデンサーレンズ41及び反射ミラー40が配置され、コンデンサーレンズ41の後側焦点面にライトガイド29の射出端が固定されている。このライトガイド29の射出端の面は投影レンズ36の瞳面と共役なので可変開口絞り30とも共役である。また、このライトガイド29の射出端の発光面は、可変開口絞り30上への投影像の大きさを可変開口絞り30の口径にほぼ等しく取っており、これによって調整板39上の基準パターンは露光光IL用の照明 σ 値にほぼ等しい照明 σ 値で照明される。さらに、露光光ILの照明光学系中において、ハーフミラー31に関して可変開口絞り30と共役な位置にフォトマルチプライア42の受光部が配置されている。即ち、フォトマルチプライア42の受光部は投影レンズ36の瞳面及びライトガイド29の射出端面と共役となるように配置されている。その受光部の検出面は、その上に投影されるライトガイド39の射出端の発

17

光面の像よりも大きく取って光量ロスを防いでいる。従って、調整板 39 の基準パターンを下面側から照明した場合、調整板 39 が投影レンズ 36 のイメージフィールドのどの位置に存在しても調整板 39 の基準パターンから射出した光の大部分は投影レンズ 36 及びトーリック型光学部材 (1, 2) に入射し、レチクル 35 のレチクルマーク RM を経てフォトマルチブライアー 42 の受光面に入射する。

【0067】中央処理ユニット 43 (以下、CPU と称する。) は、フォトマルチブライアー 42 と電気的に接続されており、このフォトマルチブライアー 42 から出力される光電変換信号が CPU 43 に供給される。また、ウエハステージ 37 の上面には X 方向用ミラー及び不図示の Y 方向用ミラーが固定され、レーザ干渉系 44 及びそれら 2 個のミラーを用いることにより、ウエハステージ 37 上の位置の座標を常時モニターすることができる。レーザ干渉系 44 から CPU 43 に対してそのウエハステージ 37 からの座標情報が供給され、CPU 43 はステージ駆動部 45 を介してそのウエハステージ 37 の位置を所望の座標位置まで移動させることができる。

【0068】さて、次に、本実施例の動作について説明する。組み立て誤差等により投影レンズ 36 及びトーリック型光学部材 (1, 2) 内に残存する投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性 (非点収差、像面湾曲、倍率誤差、歪曲収差) を計測するために、まず、不図示のレチクルステージには、図 13 に示す如き予め基準レチクル 35' が配置されている。この基準レチクル 35' のパターン領域には、図 13 に示す如く、十字状のクロム等の遮光パターンが 2 次元的に所定の間隔で配列されている。

【0069】CPU 43 は、駆動部 27 を介してシャッター 26 で露光光 IL を遮断した後、ステージ駆動部 45 を介してウエハステージ 37 上の調整板 39 を投影レンズ 36 のイメージフィールド内に移動させる。これにより、シャッター 26 から反射された露光光 IL (以下、単に照明光と称する。) が集光レンズ 28 及びライトガイド 29 を介してウエハステージ 37 の内部へ射出される。この照明光は反射ミラー 40 で反射された後に、コンデンサーレンズ 41 でほぼ平行光束に変換されて、調整板 39 に形成された基準パターンを下面側から照明する。この調整板 39 の基準パターンは、投影レンズ 36 及びトーリック型光学部材 (1, 2) により、基準レチクル 35' の遮光パターン上に投影され、この 2 つのパターン同志の整合状態は、第 2 のコンデンサーレンズ 34、ダイクロイックミラー 33、第 1 のコンデンサーレンズ 33 及びハーフミラー 31 を介してフォトマルチブライアー 42 にて光電的に検出される。そして、CPU 43 は、基準レチクル 35' 内で 2 次元的に配列された複数の遮光パターンの位置の座標をフォトマルチ

18

ブライアー 42 を介して順次検出するために、レーザ干渉系 44 を介してウエハステージ 37 の座標位置を常時モニターしながら、ステージ駆動部 45 を介してウエハステージ 37 を順次移動させる。これによって、フォトマルチブライアー 42 は基準レチクル 35' 内で 2 次元的に配列された複数の遮光パターンと調整板 39 の基準パターンとの整合状態をそれぞれ光電的に検出し、CPU 43 はそれぞれの整合状態となる座標位置をレーザ干渉系 44 を介して、CPU 43 内部の第 1 メモリー部にて順次格納する。さらに CPU 43 の内部には不図示の第 2 メモリー部及び第 1 補正量算出部を有しており、この第 2 メモリー部には、投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性 (非点収差、像面湾曲、倍率誤差、歪曲収差) とトーリック型光学部材 (1, 2) の相対的な回転量とに関する相関的な情報が予め格納されている。従って、第 1 補正量算出部は、第 1 及び第 2 メモリー部からの情報に基づいて、トーリック型光学部材 (1, 2) の補正すべき最適な相対的な回転量を算出する。そして、この第 1 補正量算出部からの補正情報に基づいて CPU 43 は駆動信号をモータ等の駆動部 46 へ出力し、駆動部 46 は所定の補正量 (回転量) だけトーリック型光学部材 (1, 2) の相対的に回転させる。

【0070】以上の動作が完了した後、実際のプロセスに用いる通常のレチクル 35 を不図示のレチクルステージ上に設定し、CPU 43 は駆動部 27 を介してシャッター 26 を切り換える。これによって、露光光 IL は照明光学系を介してレチクル 35 を照明して、レチクル 35 のパターン像はトーリック型光学部材 (1, 2) 及び投影レンズ 36 を介してウエハ 38 上に忠実に転写される。この様に、投影露光装置による露光転写を連続的に行うと、投影レンズ 36 には露光光 IL による熱エネルギーが蓄えられ、投影レンズ 36 の光学特性の変動が生じる恐れがあるため、露光転写の途中で定期的に、以上に述べた如く、投影レンズ 36 による光学特性を計測し、その計測した結果に基づいてトーリック型光学部材 (1, 2) を回転させれば良い。この時、投影レンズ 36 を構成するレンズ間での圧力を制御して、投影レンズ 36 自体の倍率を調整するという周知の技術と併用することがより望ましい。

【0071】なお、トーリック型光学部材 (1, 2) の相対的な回転量によって、投影レンズ 36 に残存する回転非対称な光学特性 (非点収差、像面湾曲、倍率誤差、歪曲収差) が完全に最適化された状態で補正されているかを確認する事が望ましく、この場合には、以上の述べた動作を繰り返せば、より完全なる補正が達成できる。

【0072】また、投影レンズ 36 内に残存する倍率誤差、歪曲収差を計測する際には、ウエハステージ 37 を 2 次元的に移動させて基準レチクル 35' 内の各遮光パターンの座標位置を求めれば良いが、投影レンズ 36 内に残存する非点収差、像面湾曲をより正確に計測する際

には、ウエハステージ37を投影レンズ36の光軸方向へ移動させながら、フォトマルチプライアー42からの出力信号のコントラストが最大となるような基準レチクル35'内の各遮光パターンの座標位置を求めれば良い。

【0073】さて、本実施例の投影露光装置は、半導体製造プロセス等によりウエハ38の非線型な伸縮、複数の投影露光装置によって半導体を製造する場合での投影露光装置間の倍率誤差及び歪曲収差の差が生じる際にも十分に対応することができる。具体的には、まず、CPU43は、ウエハ上に形成されている複数のウエハマークの座標位置を、投影レンズ36の外側に設けられている第2アライメント48を介して順次、光学的に検出するために、レーザ干渉系44を介してウエハステージ37の座標位置を常時モニターしながら、ステージ駆動部45を介してウエハステージ37を順次移動させる。これによって、CPU43は第2アライメント48及びレーザ干渉系44から得られるウエハ上に形成された各ウエハマークの座標位置をCPU43の内部の第3メモリ部にて順次格納する。さらにCPU43の内部には不図示の第4メモリ部及び第2補正量算出部を有しており、この第4メモリ部には、投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性（非点収差、像面湾曲、倍率誤差、歪曲収差）とトーリック型光学部材（1，2）の相対的な回転量とに関する相関的な情報が予め格納されている。従って、第2補正量算出部は、第3及び第4メモリ部からの情報に基づいて、トーリック型光学部材（1，2）の補正すべき最適な相対的な回転量を算出する。そして、この補正量算出部からの補正情報に基づいてCPU43は駆動信号をモータ等の駆動部46へ出力し、駆動部46は所定の補正量（回転量）だけトーリック型光学部材（1，2）の相対的に回転させる。

【0074】以上の図12に示した実施例ではトーリック型光学部材（1，2）の相対的な回転量によって投影レンズ36に残存する回転非対称な光学特性（非点収差、像面湾曲、倍率誤差、歪曲収差）を補正する例を述べたが、トーリック型光学部材（1，2）を相対的に投影レンズ36の光軸方向へ移動させても良いことは言うまでもない。また、図12の実施例では投影レンズ36に残存する回転非対称な光学特性（非点収差、像面湾曲、倍率誤差、歪曲収差）を自動補正する例を示したが、トーリック型光学部材（1，2）の回転または移動をマニュアル的に行うことも可能である。

【0075】また、本実施例中の光源21、楕円鏡22及びコリメータレンズ24の代わりに平行光束を供給するエキシマレーザ等のレーザ光源を用いても良く、さらにはこのレーザ、及びこのレーザ光を所定の光束断面の光に変換するビームエキスパンダとを組み合わせても良い。さて、図12に示した実施例では、レチクルと投影レンズとの間にトーリック型光学部材（1，2）を配置

した例を述べたがこの配置に限ることはなく、図14に示す如き構成としても良い。

【0076】図14の（a）は、投影レンズ36とウエハ38との間にトーリック型光学部材（1，2）を配置した例を示している。図示の如く、トーリック型光学部材（1，2）は、ウエハ38側から順に、レチクル35側に凹面を向けた負の円柱レンズ1と、ウエハ38側に凸面を向けた正の円柱レンズ2とを有している。この構成によれば、図12に示した実施例と同様に、非点収差に対して余り影響を及ぼさずに、倍率誤差の補正に対して大きく寄与させることができる。従って、投影レンズ36内にて倍率誤差が大きく残存している場合において有効（図12に示した実施例と同様に有効）である。

【0077】図14の（b）は、前群36Aと後群36Bとからなる投影レンズ36において、前群36Aと後群36Bとの間、即ち投影レンズ36の瞳位置もしくはその近傍にトーリック型光学部材（1，2）を配置した例を示している。図示の如く、トーリック型光学部材（1，2）は、レチクル35側から順に、ウエハ38側に凹面を向けた負の円柱レンズ1と、レチクル35側に凸面を向けた正の円柱レンズ2とを有している。この構成によれば、倍率誤差に対して余り影響を及ぼさずに、非点収差の補正に対して大きく寄与させることができる。従って、投影レンズ36内にて非点収差が大きく残存している場合において有効である。

【0078】図14の（c）は、投影レンズ36を挟んでレチクル35側とウエハ38側とにそれぞれトーリック型光学部材（2A，2B）を配置した例を示している。図示の如く、レチクル35と投影レンズ36との間には、ウエハ38側に凸面を向けた第1の正の円柱レンズ2Aが設けられており、投影レンズ36とウエハ38との間にはレチクル35側に凸面を向けた第2の正の円柱レンズ2Bが設けられている。この構成によれば、図12及び図14（a）に示した例と同様に、非点収差に対して余り影響を及ぼさずに、倍率誤差の補正に対して大きく寄与させることができる。

【0079】図14の（d）は図14の（c）をさらに応用した例を示しており、投影レンズ36を挟んでレチクル35側とウエハ38側とにそれぞれ配置された正の円柱レンズ（2A，2B）の各々に負の円柱レンズ（1A，1B）を組み合わせた例を示している。この構成によれば、非点収差に対して余り影響を及ぼさずに、倍率誤差の補正に対して大きく寄与させることができる。この場合、第1のトーリック型光学部材（1A，2A）と第2のトーリック型光学部材（1B，2B）との内的一方によって投影レンズ36に残存する倍率誤差を主に補正し、他方によってウエハ38の伸縮に対する倍率誤差の補正を行っても良い。さらには、この構成に基づいて、第1のトーリック型光学部材（1A，2A）と第2のトーリック型光学部材（1B，2B）との内的一方の

パワーを強くし、他方を弱くなるように構成すれば、一方のパワー強いトーリック型光学部材では、非点収差に対して余り影響を及ぼさずに倍率誤差の粗調整が行え、他方のパワーの弱いトーリック型光学部材では、非点収差に対して余り影響を及ぼさずに倍率誤差の微調整が行える。

【0080】図14の(e)は図14の(a)と図14の(b)とを組み合わせるさらに応用した例を示しており、図示の如く、レチクル35と投影レンズ(前群36A)との間には、負の円柱レンズ1Aと正の円柱レンズ2Aとで構成される第1のトーリック型光学部材(1A, 2A)が設けられており、投影レンズ36中における前群36Aと後群36Bとの間(投影レンズ36の瞳位置もしくはその近傍)には、負の円柱レンズ1Bと正の円柱レンズ2Bとで構成される第2のトーリック型光学部材(1B, 2B)が設けられている。この構成によれば、第1のトーリック型光学部材(1A, 2A)では非点収差に対して余り影響を及ぼさずに倍率誤差の調整が行え、第2のトーリック型光学部材(1B, 2B)では倍率誤差に対して余り影響を及ぼさずに非点収差の調整が行え、すなわち、倍率誤差と非点収差とを独立に補正することができる。

【0081】図14の(f)は図14の(d)と図14の(e)とを組み合わせる例を示しており、倍率誤差と非点収差との独立補正に加えて、倍率誤差と非点収差との各々の粗調整と微調整とを行うことができる。

【0082】

【発明の効果】以上に述べたように、本発明によれば、製造誤差による投影光学系の性能低下を防止して、設計値どりの高性能な投影光学系を得る事が可能となり、製造上では歩留まりの向上につながる。また、これらの機能を積極的に利用して、投影光学系に悪影響を与える事無しに、ウェハプロセスに起因する非線形なウェハの伸縮や、投影露光装置間の回転対称な倍率誤差を補正してやる事により、マッチング精度の低下を防止できる。また、何らかの原因で発生した光学系自身による非点収差、ディストーションを補正する事もできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】トーリックレンズを負の円柱レンズとした時の原理図である。

【図2】トーリックレンズを正の円柱レンズとした時の原理図である。

【図3】図1の負の円柱レンズによる作用を示す図である。

【図4】図2の正の円柱レンズによる作用を示す図である。

【図5】図3に示した仮想平面での光束断面の様子を示す平面図である。

【図6】図4に示した仮想平面での光束断面の様子を示す平面図である。

す平面図である。

【図7】図3に示した負の円柱レンズの幾何光学的な関係を示す図である。

【図8】図4に示した正の円柱レンズの幾何光学的な関係を示す図である。

【図9】投影光学系の幾何光学的な関係を示す図である。

【図10】図9に示した投影光学系とレチクルとの間にトーリックレンズとしての円柱レンズを配置した時の幾何光学的な関係を示す図である。

【図11】図9に示した投影光学系の瞳近傍にトーリックレンズとしての円柱レンズを配置した時の幾何光学的な関係を示す図である。

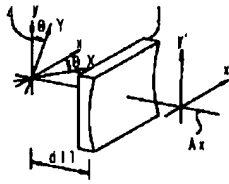
【図12】本発明による実施例の構成を示す図である。

【図13】基準レチクルの様子を示す平面図である。

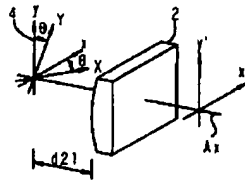
【図14】(a)はレチクルと投影レンズとの間にトーリックレンズとしての正の円柱レンズと負の円柱レンズとを配置した時の様子を示す図、(b)は投影レンズの瞳位置またはその近傍にトーリックレンズとしての正の円柱レンズと負の円柱レンズとを配置した時の様子を示す図、(c)はレチクルと投影レンズとの間及び投影レンズとウェハとの間の各々にトーリックレンズとしての正の円柱レンズを配置した時の様子を示す図、(d)はレチクルと投影レンズとの間及び投影レンズとウェハとの間の各々にトーリックレンズとしての正の円柱レンズと負の円柱レンズとを配置した時の様子を示す図、(e)はレチクルと投影レンズとの間及び投影レンズの瞳位置またはその近傍の各々にトーリックレンズとしての正の円柱レンズと負の円柱レンズとを配置した時の様子を示す図、(f)はレチクルと投影レンズとの間、及び投影レンズの瞳位置またはその近傍及び投影レンズとウェハとの間の各々にトーリックレンズとしての正の円柱レンズと負の円柱レンズとを配置した時の様子を示す図である。

【主要部分の符号の説明】
1..... 負の円柱レンズ
2..... 正の円柱レンズ
21..... 光源
22..... 楕円鏡
23..... 反射ミラー
24..... コリメータレンズ
25..... オプティカルインテグレータ
32..... 第1のコンデンサーレンズ
34..... 第2コンデンサーレンズ
36..... 投影レンズ
37..... ウエハステージ
38..... ウエハ
42..... フォトマルチプライア
48..... 第2アライメント系

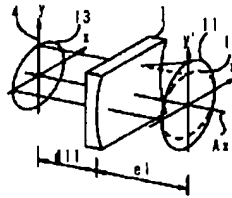
【図1】



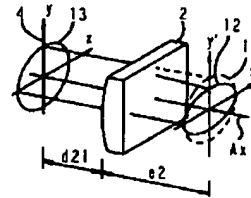
【図2】



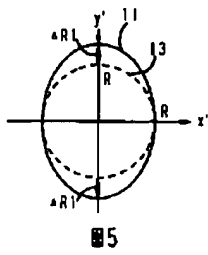
【図3】



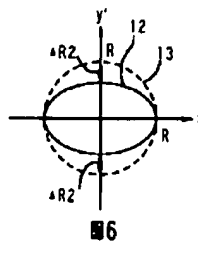
【図4】



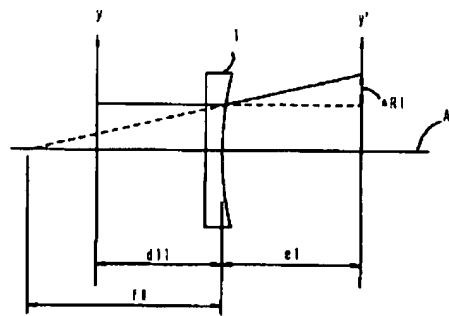
【図5】



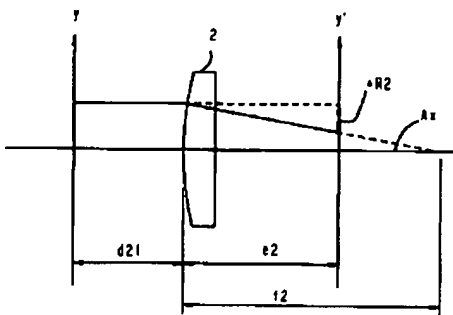
【図6】



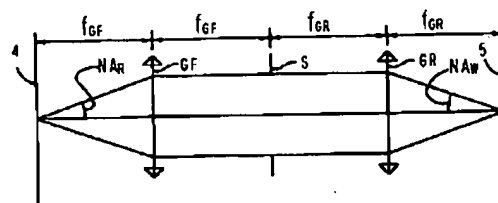
【図7】



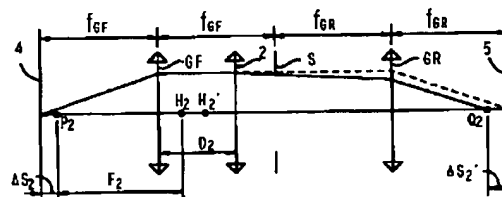
【図8】



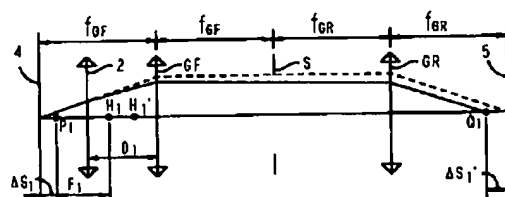
【図9】



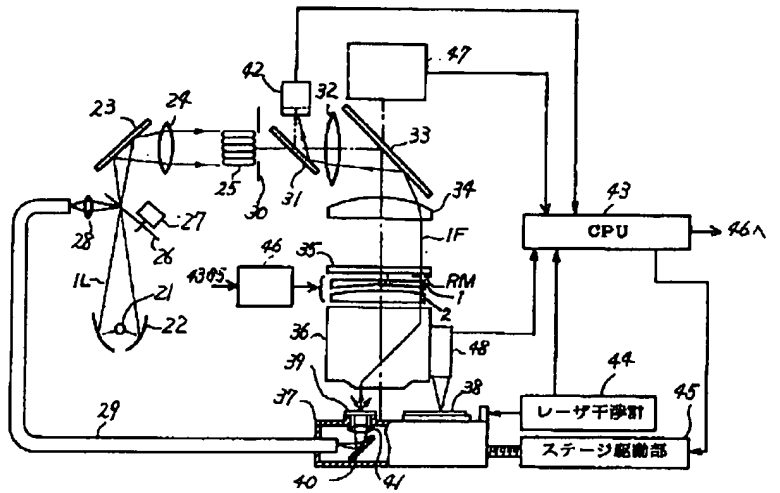
【図11】



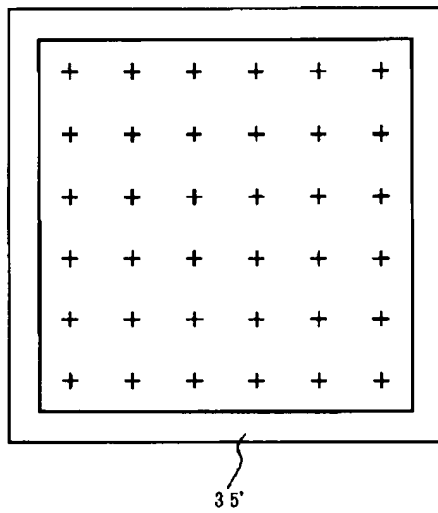
【図10】



【図12】



【図13】



【図14】

